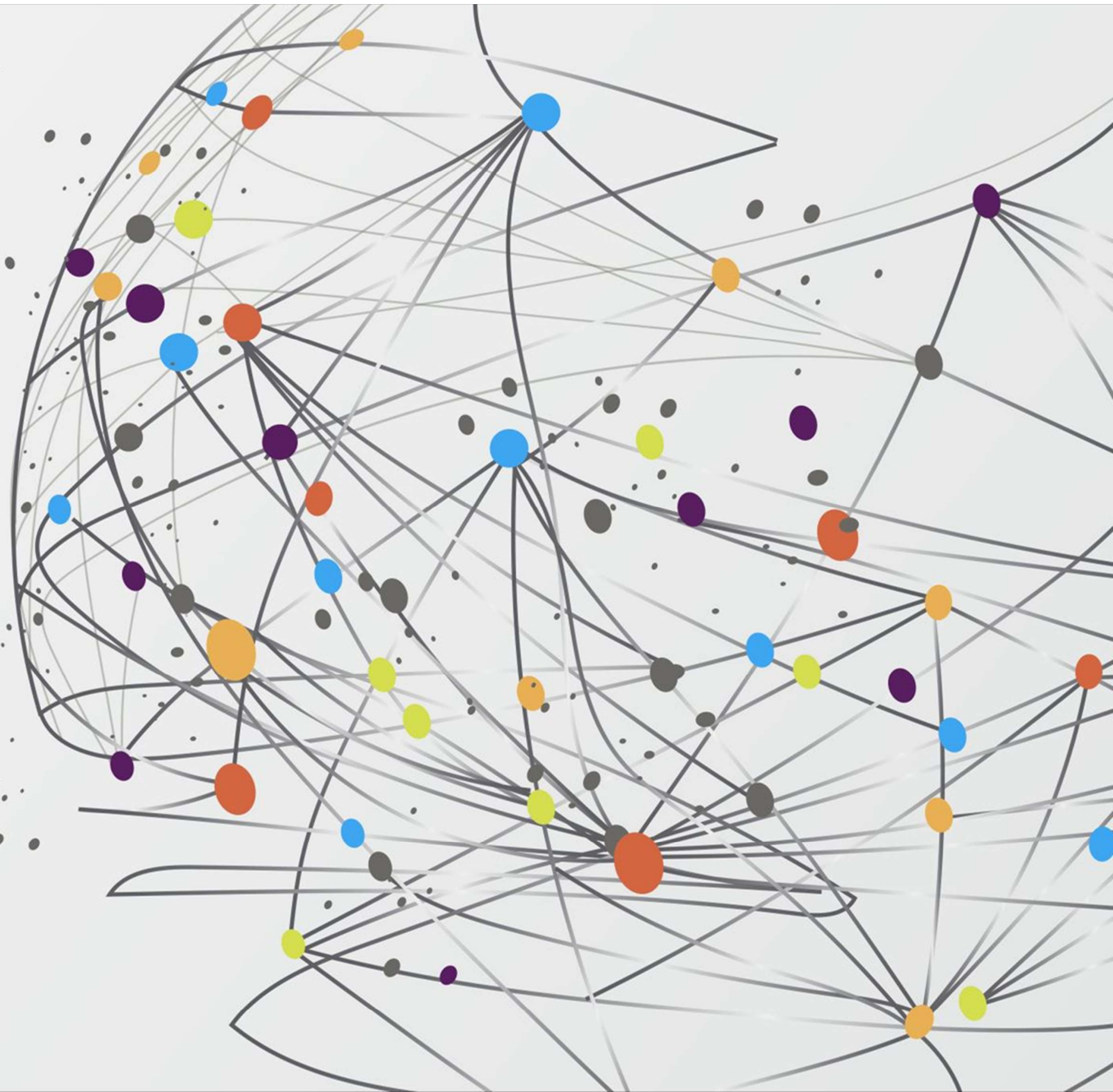


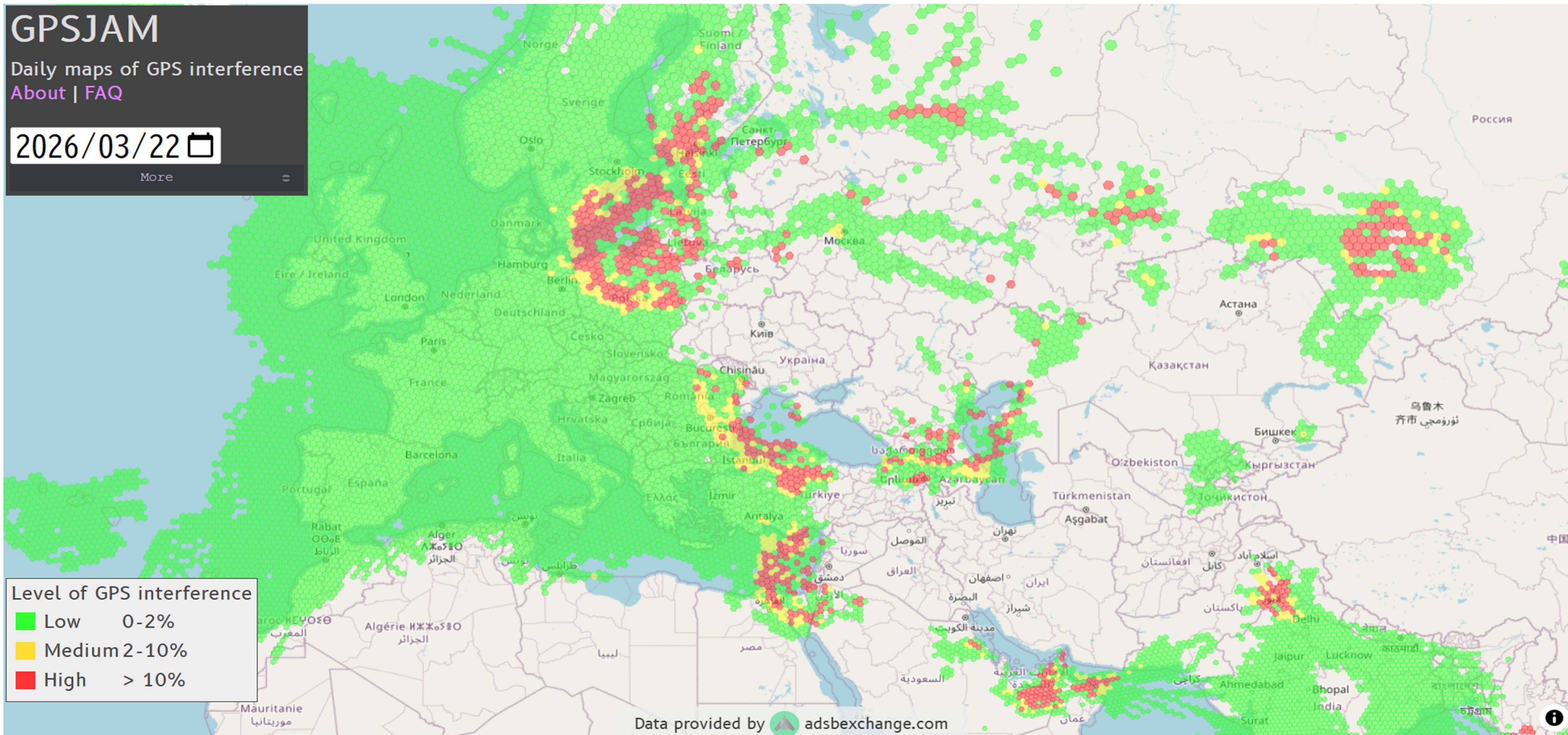
GPS等のGNSSに依存 しない低軌道測位 (LEO PNT) : システム、サービス

村田真哉 (JAXA)
@レジリエントPNT
ワークショップ (2026/7/29)

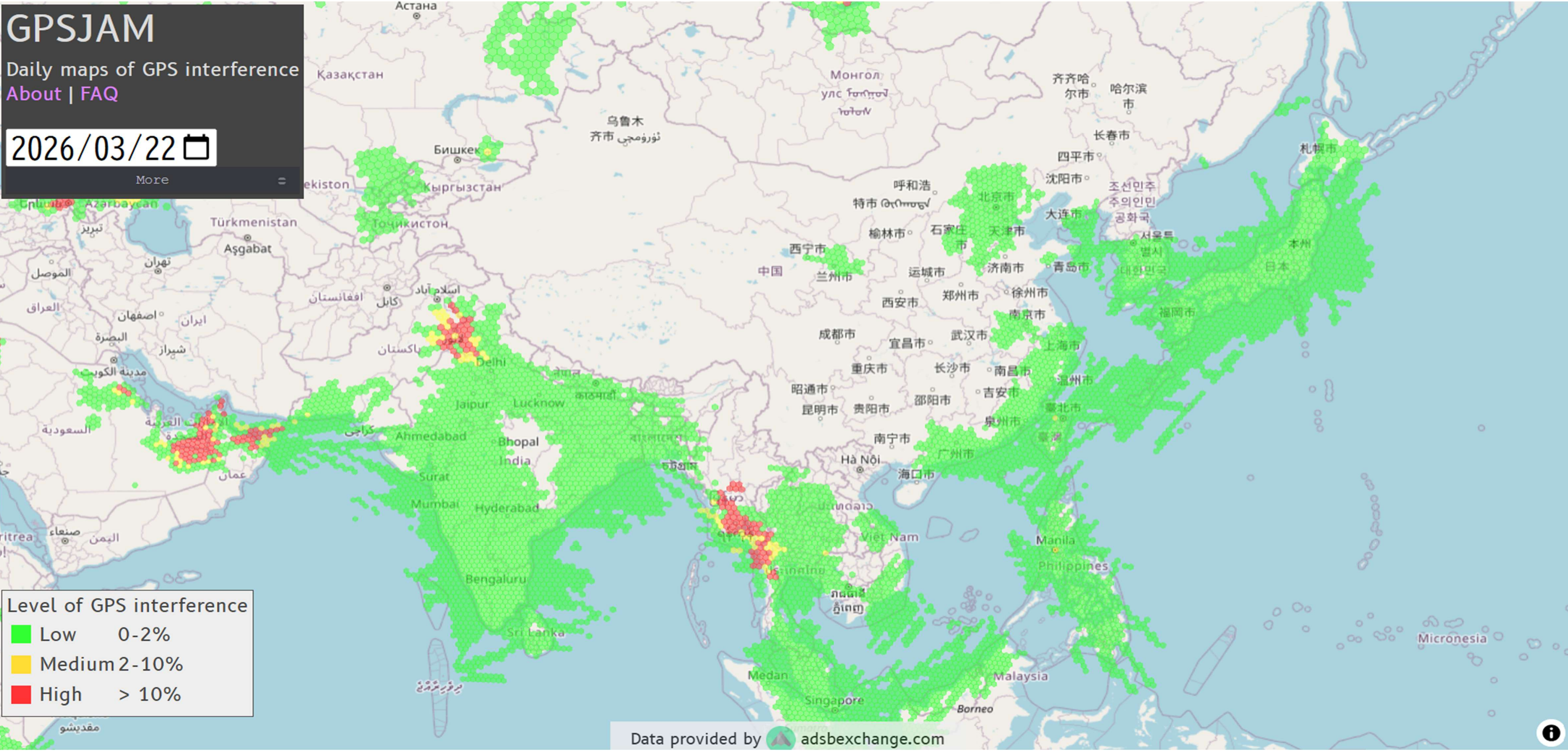


なぜ代替Positioning, Navigation, and Timing (PNT) が必要か?

「ヨーロッパや中東ではGPSへの干渉行為が現実の脅威になっている」



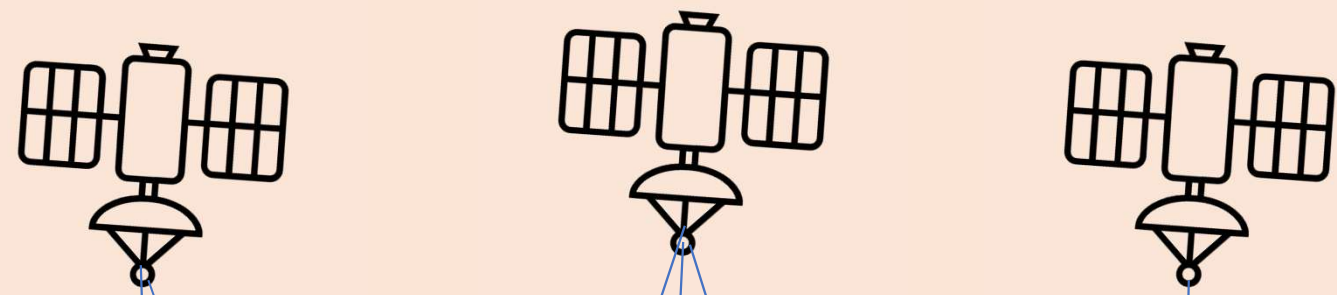
アジアではまだ干渉行為が比較的少ないが、将来どうなるかはわからない



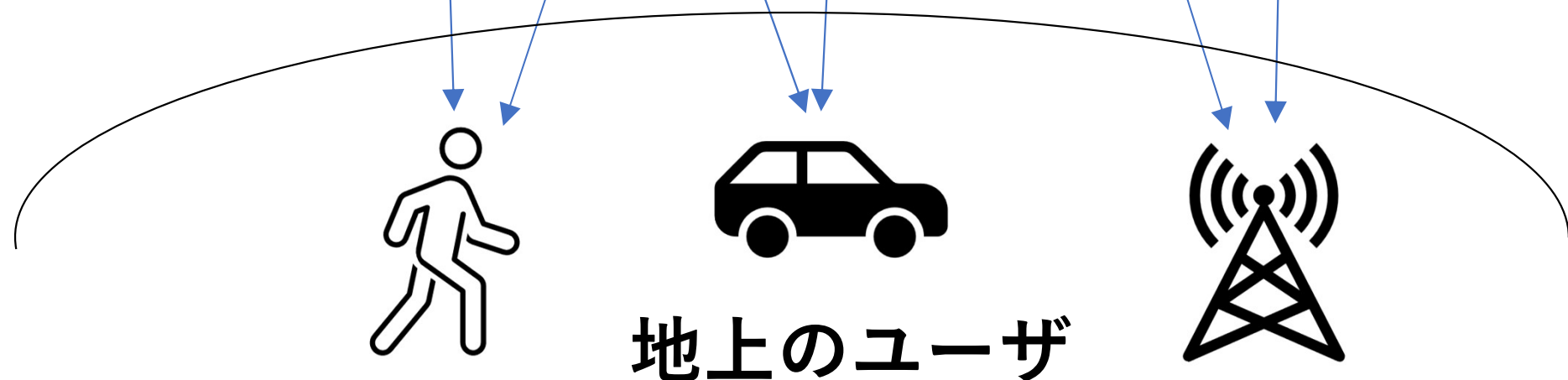
なぜPNTで低軌道を使用する？高い頑健性と高精度の可能性



GPS等のGNSS（高度約2万km）



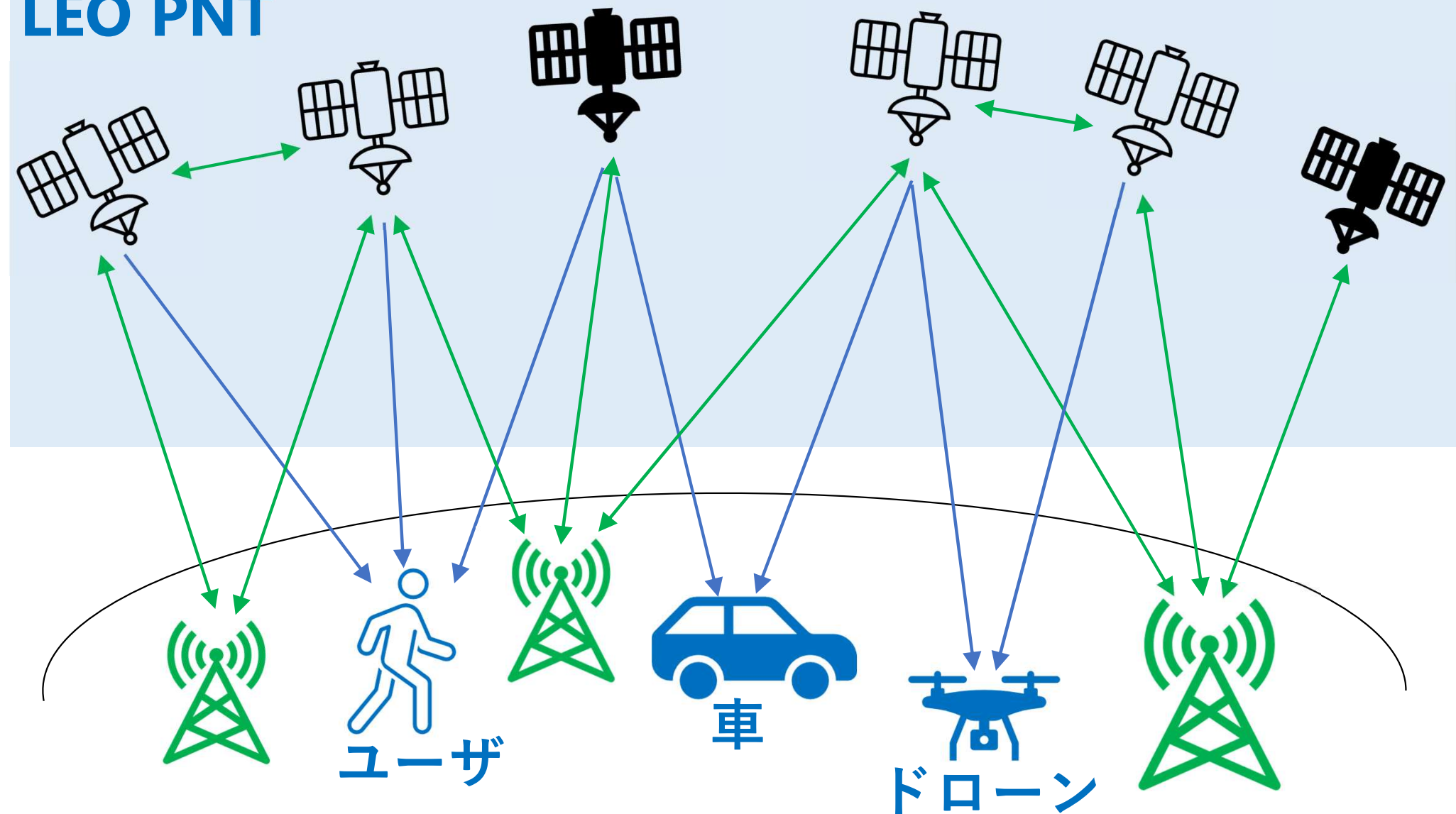
低軌道（高度約2000kmまで）



地上のユーザ

- 低軌道はGNSSと比べてかなり地表に近い
 - ✓ LEO PNTはGNSSと比べて地上のユーザに高強度な測位信号を配信可能
 - ✓ 地表に近いためGNSSより高い周波数帯の測位信号を配信可能（伝搬損失が少なくなるため）
- 低軌道上の測位衛星はGNSSよりかなり早く動く
 - ✓ GNSSと比べて短時間で多様な観測量を得られるため、精密単独測位の収束時間がずっと早い

LEO PNT



GNSS非依存のLEO PNTの重要性

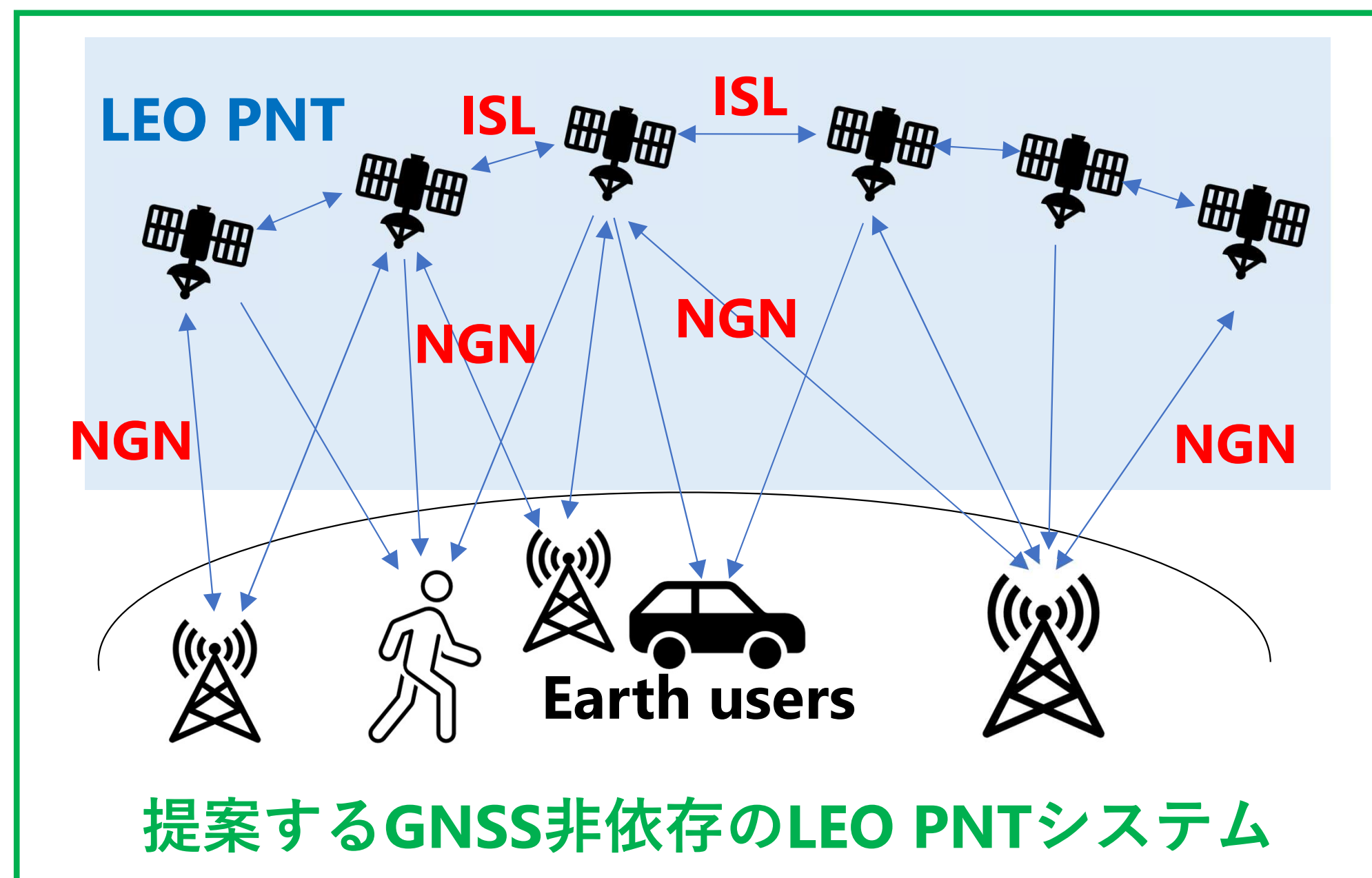


- ・ **GPS等が何らかの理由により使えない状況下においても**、既存の干渉行為（ジャミング・スプーフィング）に頑健かつ安全な高精度PNTサービスを地球のユーザに配信できるようになる
- ・ **さらに低軌道から配信される高強度な測位信号は建物の壁も貫通するため**、既存GNSSでは不可能であった屋内PNTサービスの提供が期待されている（米国のIridium社やXona Space Systems社が実証済み（Iridium社は既に屋内timingサービスを展開中））

GNSS非依存:

Navigation Ground Nodes (NSN)が低軌道上の測位衛星に向けて航法信号を配信することでシステムを非GNSS依存化

※NGNは基準局としても動作するため誤差低減に係る補強信号や相対測位サービスも提供可能



サービス域の広範化:
低軌道上の測位衛星間のInter-Satellite Links (ISL)により、NGNが配備されていない領域に対してもPNTサービスを配信

※ISLは追加の観測量（衛星間測距、衛星間時刻同期）も与えるため、PNT精度自体も向上

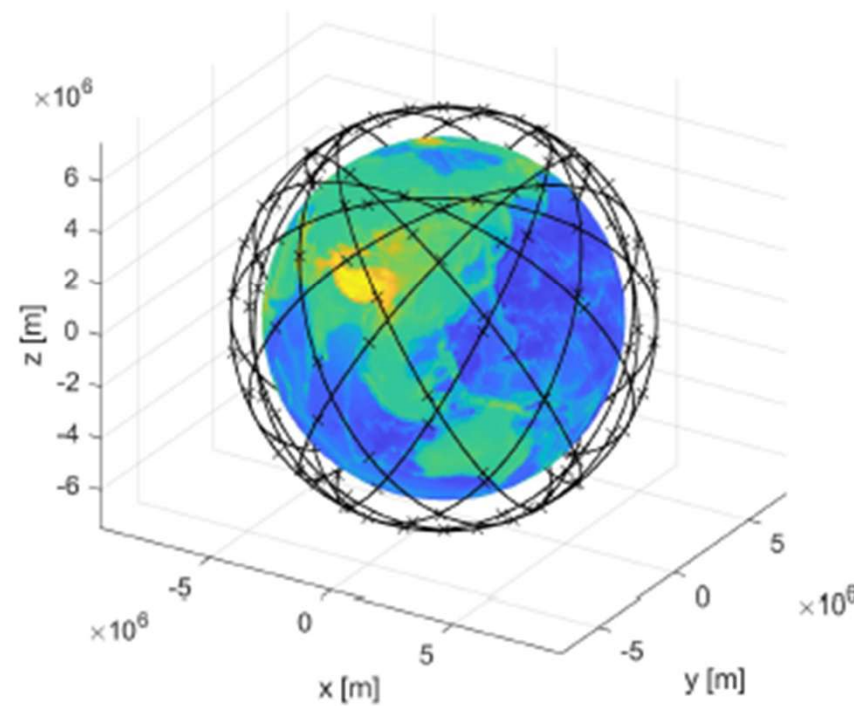
LEO PNTコンステレーション案 (IOC-A:144機、IOC-B: 288機)



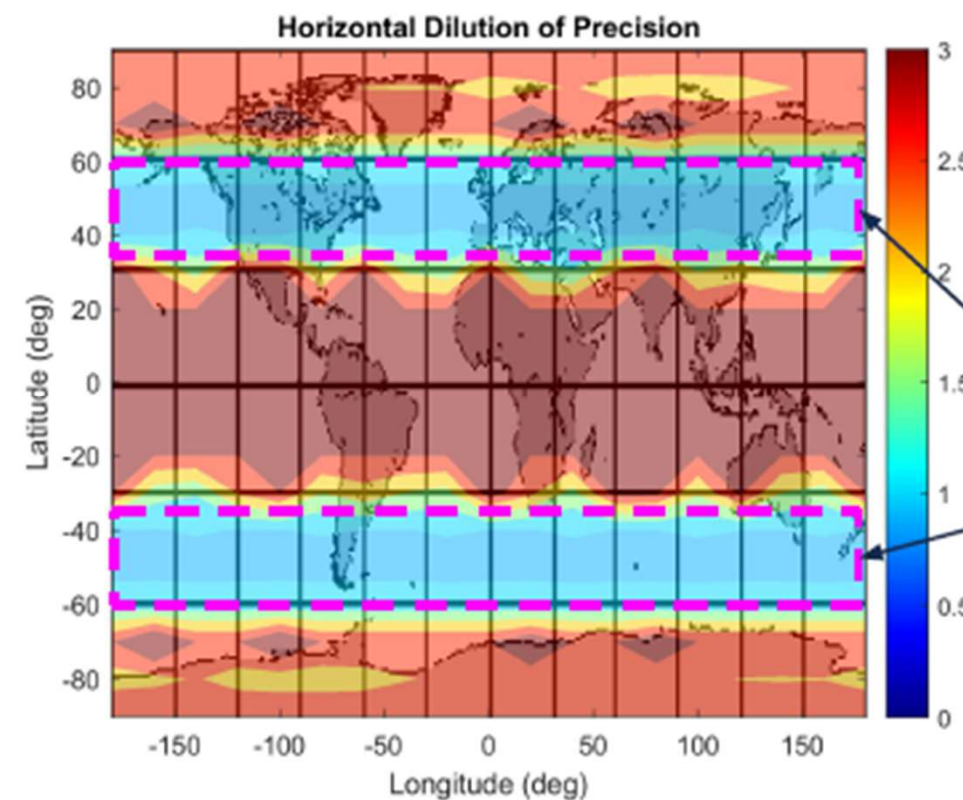
Two proposed constellations are to be introduced. Seek for HDOP < 1.2 (equivalent to < 5 m horizontal accuracy).

1. Minimum viable constellation

- At least 4 satellites are visible.
- Mid-latitude (Japan) region is covered (with HDOP < 1.2)



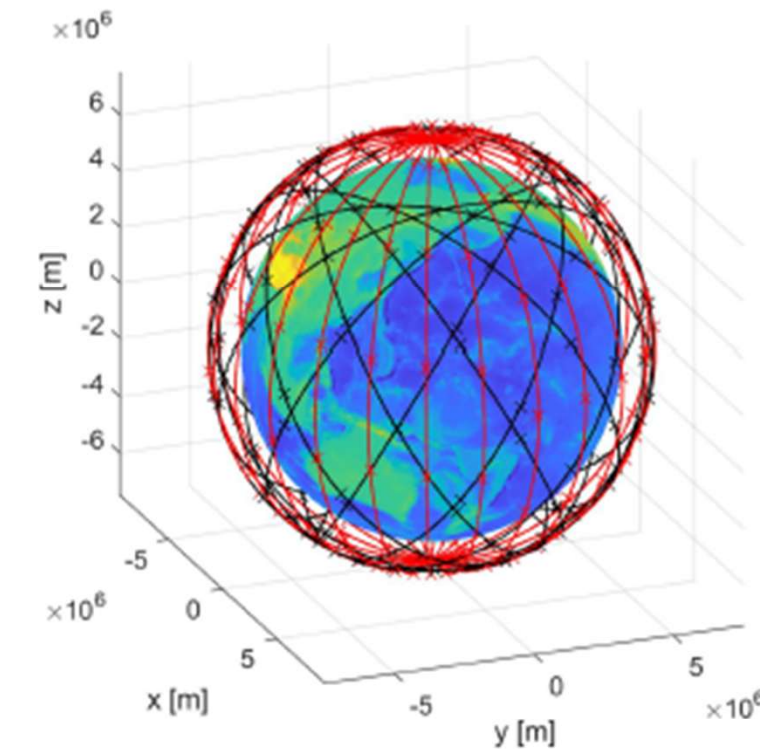
#Sat = 144
Inc = 60°
M Sep. = 30°
Ω Sep. = 30°
Alt = 1100 km



HDOP < 1.2

2. Initial Operational Constellation

- DOP conditions of 1~2 are met.
- Polar, Mid-Latitude and Equatorial regions are met (with HDOP < 1.2)

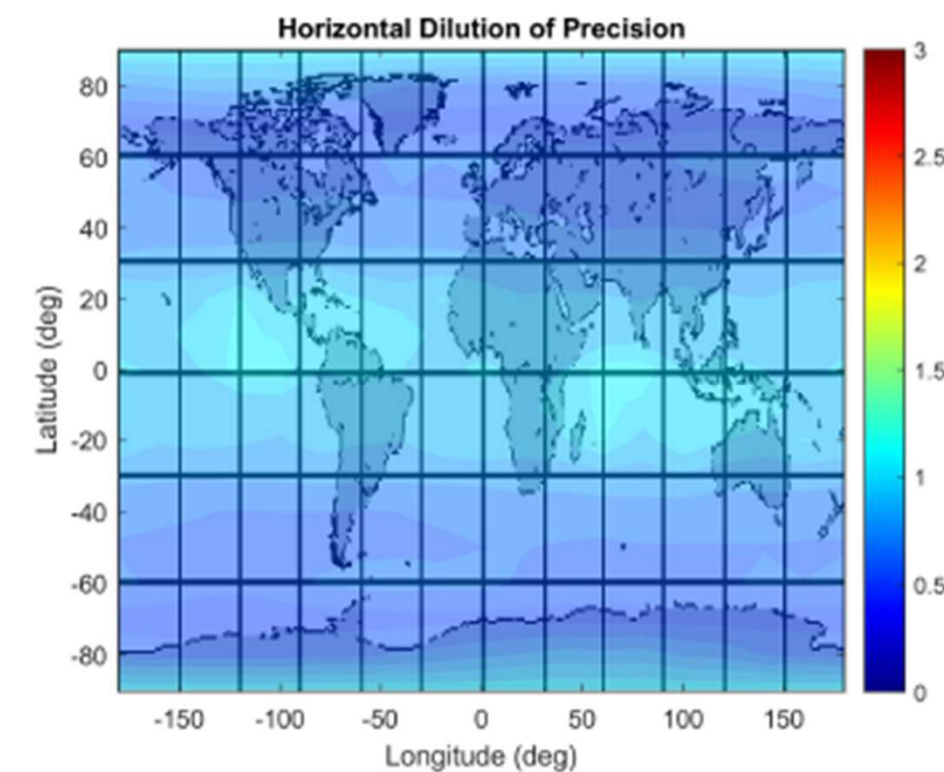


#Sat = 144
Inc = 60°
M Sep. = 30°
Ω Sep. = 30°
Alt = 1100 km



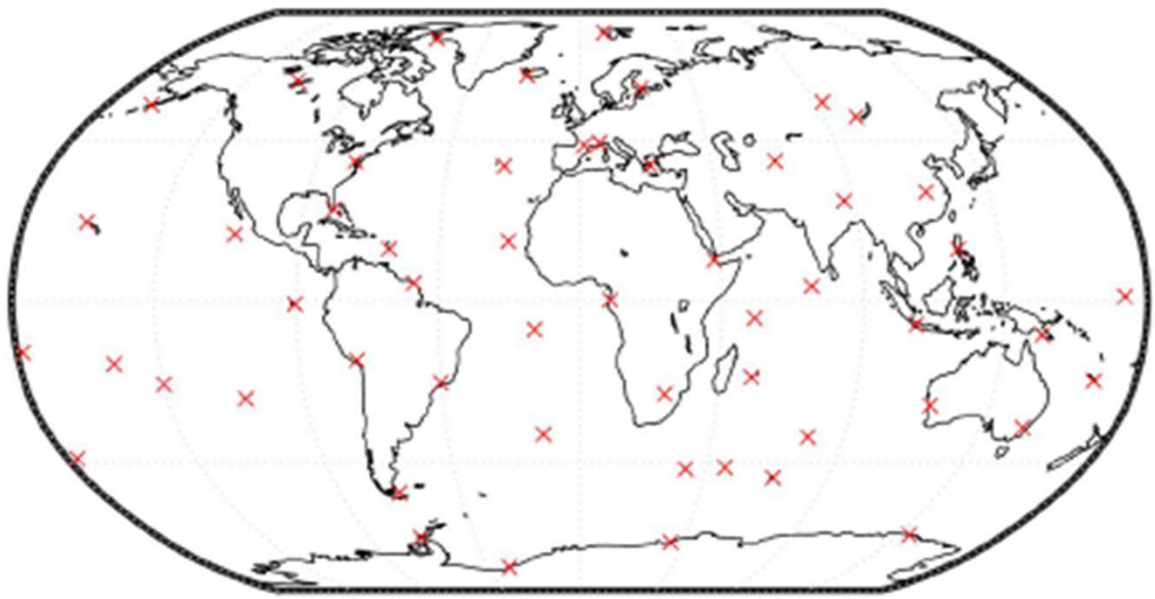
#Sat = 144
Inc = 96°
M Sep. = 30°
Ω Sep. = 15°
(Walker-Star)
Alt = 1100 km

=



HDOP < 1.2

技術のポイント1: 地上ノード (Navigation Ground Nodes, NGN)



Case 2 - Active
(Option 2)
DORIS stations
transmitting
(as of 2013)
51 stations

CNES DORIS地上局ネットワークを参照し、
LEO PNT用に51式のNGNをグローバル配備



CNES DORIS地上局 (参照)

51式のNGNからLEOに向けて配信される航法信号を使用したLEO PNT衛星の軌道時刻推定精度
→ 3式以上のNGNが可視の際、m級のSISE (衛星側測位誤差) を確認。m級の測位サービスを地上に配信可能

Inclination 70°

Boundaries	Entire Period	Pseudo > 0	Pseudo > 1	Pseudo > 2
Position [m]	18.031	14.787	6.062	0.991
Time [ns]	25.854	10.964	5.815	2.450
SISE [m]	18.905	15.995	6.110	0.989

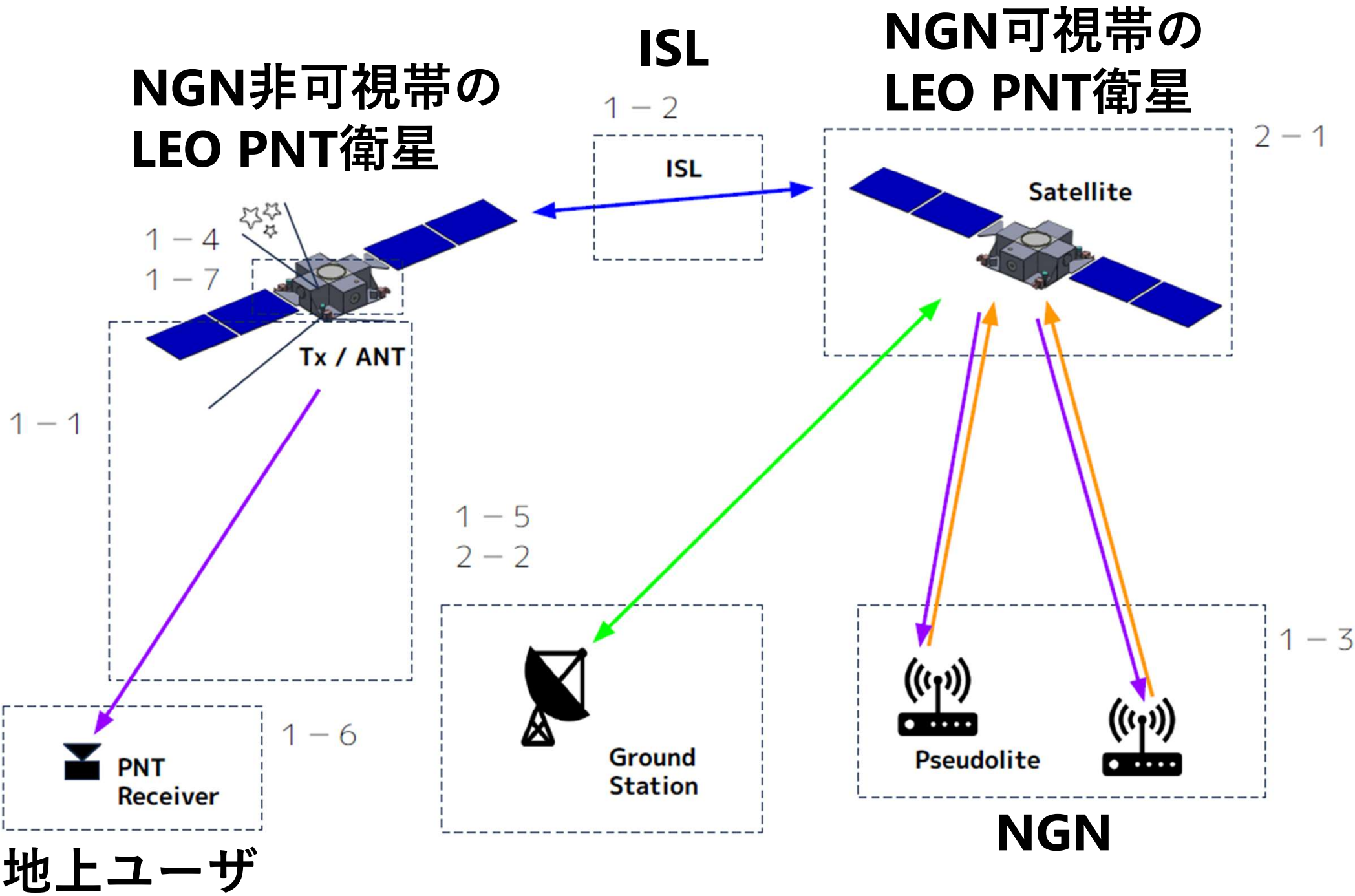
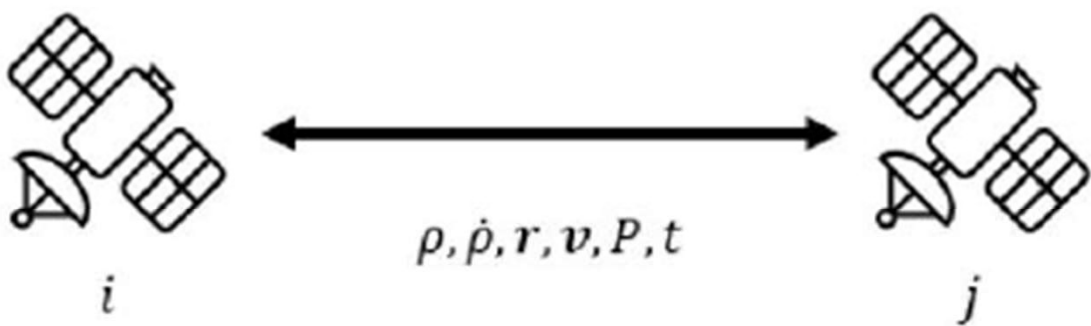
Inclination 96° ↓

Boundaries	Entire Period	Pseudo > 0	Pseudo > 1	Pseudo > 2
Position [m]	16.021	9.826	8.164	0.645
Time [ns]	23.586	14.080	8.532	1.829
SISE [m]	16.867	10.363	9.279	0.683

技術のポイント2: Inter-Satellite Linkによるサービス域の拡張



- NGNの非可視帯においてはLEO PNT衛星のSISEが大きく劣化するため、LEO PNT衛星間のInter-Satellite Link (ISL)も使用したODTSのアプローチがサービス域の拡張において重要になる



Upon full ISL and global deployment - performance of SISE is achieved globally, meeting requirements of GPS.

k	SISE (Rinfo = 2)	SISE (Rinfo = 5)
2	4.923 m	3.264 m
3	4.786 m	3.127 m
4	4.718 m	3.059 m
5	4.677 m	3.018 m

NGNとISLの併用により、グローバルにGPSの精度レベルの測位サービスを提供可能であることを確認

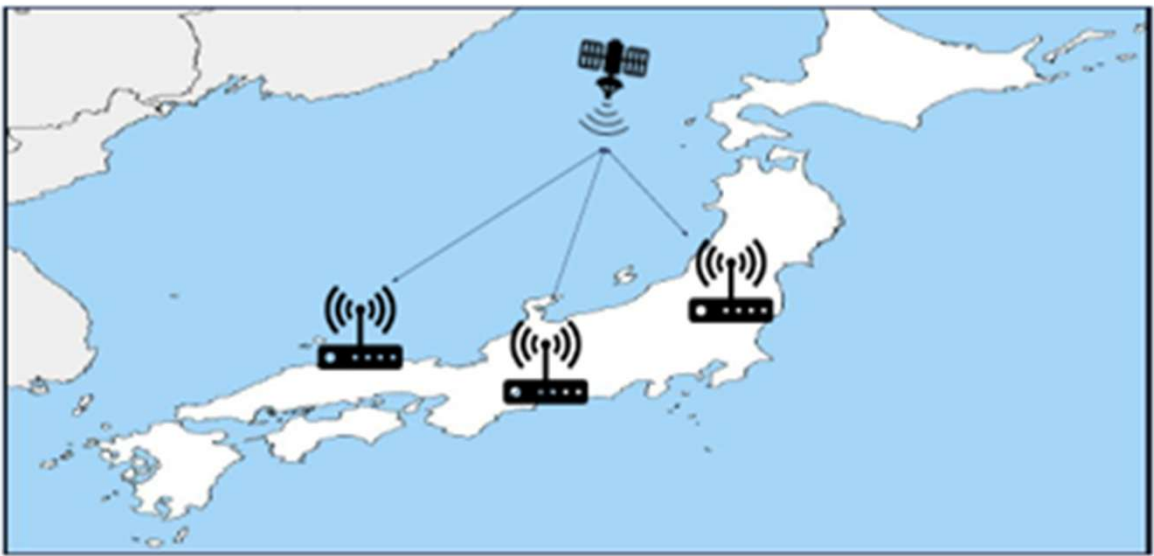
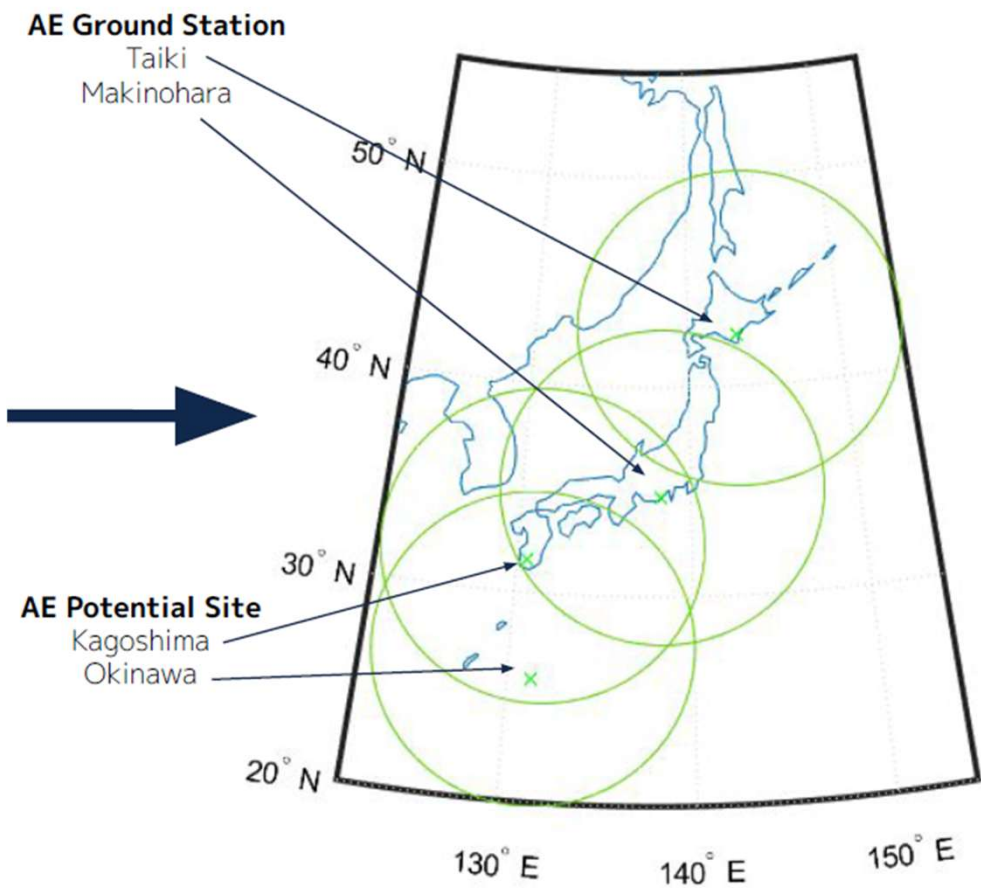
GNSS非依存のLEO PNTシステムの構築案（phased approach）



- ・ 実証フェーズ: 5式のNGNを日本に配備し、軌道高度1100～2000km、軌道傾斜角96° に配備する2機のLEO PNT衛星の軌道時刻推定精度（SISE）を評価。ISLの性能も評価



Case 1 - Japan-Only (Option 3)
Distribution over Japan territory
4 stations



5式のNGNを日本に配備し、LEO PNT衛星に向けて航法信号を配信

国内にLEO PNTの受信機を設置し、LEO PNT衛星から配信される測位信号を受信することでサブメートル級のSISE（衛星側測位誤差）を実証

Altitude 1100 km

Boundaries	Entire Period	Pseudo No. > 0
Position [m]	691.382	0.353
Time [ns]	666.231	1.408
SISE [m]	680.093	0.416

Altitude 2000 km

Boundaries	Entire Period	Pseudo No. > 0
Position [m]	1022.218	0.735
Time [ns]	416.19	17.251
SISE [m]	1033.392	0.962

まとめ：国家の重要基盤インフラを支えるPNTシステムとして

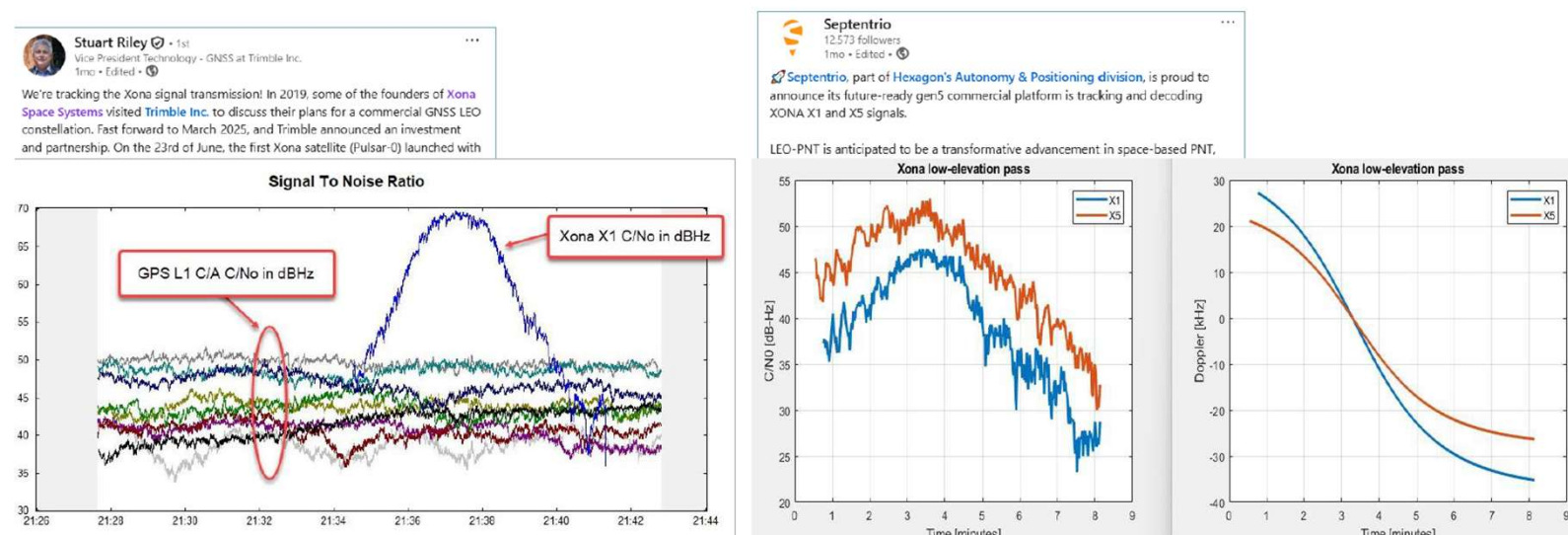


- LEO PNTはGNSSが干渉等にさらされ使えない状況下においても**国家の重要基盤インフラ（Critical National Infrastructure）**を支える新世代の測位衛星システムになる可能性がある
- アジアではまだ広範なGPSの干渉が報告されていないが、今後は欧州や中東の様な深刻な状況にもなりかねないため**先手を打ってLEO PNTの研究開発を進める必要がある**
- 欧米中露韓等でLEO PNTの検討、初期配備が急速に進む中、日本もJAXAが2024年度から本格的に実現性検討に着手。**2025年度はGNSSに依存しない頑健なLEO PNTシステムを検討・設計した。競争相手は海外であり、日本も大きな後れを取らないためにスピード感を持った開発が必要**

米国Xona Space Systems社による実証（2026年） 米国TrustPoint社による実証（2026年）

● Live-sky results – Integration

First results from Pulsar-0 w/ Xona partners



© 2026 XONA SPACE SYSTEMS INC.

© 2026 Xona Space Systems



© 2026 TrustPoint

